

不同硅肥用量与栽插苗数对水稻生长发育和产量的影响

李珂清, 王茂辉, 聂金泉, 李霜霜, 梁家伟, 顾春波, 钟春燕* (广东省肇庆市农业科学研究所, 广东肇庆 526070)

摘要 以优质水稻品种粤禾丝苗为供试材料进行田间试验, 设置 4 个硅肥用量(0、90、180、270 kg/hm²) 处理和 4 个栽插苗数(每穴 2、4、6、8 苗) 处理, 通过分析株高、茎秆强度、干物质积累量和产量等因素, 研究不同硅肥施量和栽插苗数配置对水稻生长发育和产量的影响。结果表明, 施用硅肥处理水稻各指标测定结果比未施硅肥处理高, 而且不同硅肥施用量和栽插苗数对水稻生长影响不同。水稻栽插苗数对水稻农艺性状有一定的影响, 其中株高和茎、叶干物质质量以插秧 6 苗处理最高, 穗干物质质量以插秧 4 苗处理最高; 水稻茎秆强度在不同生育期表现不同, 均在插秧 2 苗处理时最高。从水稻产量指标的研究结果发现, 270 kg/hm² 的高肥处理产量最高, 表明硅肥能够促进植株营养物质的吸收与转化, 进而提高水稻产量。从产量构成因素来看, 每穗总粒数、千粒重和结实率与产量表现相似, 且不同施肥量与栽插苗数对每穗总粒数和千粒重影响较小。

关键词 硅肥; 苗数; 茎秆强度; 干物质; 产量

中图分类号 S511 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2020)22-0028-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2020.22.008



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Effects of Different Silicon Fertilizer Application Rates and Transplanting Seedling Number on Growth and Yield of Rice

LI Ke-qing, WANG Mao-hui, NIE Jin-quan et al (Zhaoqing Institute of Agricultural Sciences, Zhaoqing, Guangdong 526070)

Abstract The high-quality rice variety Yuehesimiao seedlings was used as the test material for field trials, with 4 silicon fertilizer dosages (0, 90, 180, 270 kg/hm²) treatment and 4 planting seedlings (2, 4, 6, 8 seedlings per hole) treatment. By analyzing the factors such as plant height, stem strength, dry matter accumulation and yield, the effects of silicon fertilizer application rates and transplanting seedling number on rice growth and yield were studied. The results showed that the application of silicon fertilizer was higher than no silicon fertilizer in the determination results of rice indexes, and the effects of different silicon fertilizer application and transplanting seedling number on rice growth were different. The number of transplanted rice seedlings had a certain effect on the agronomic traits of rice. Among them, the plant height and stem and leaf dry matter quality were highest in the 6-transplant seedling treatment, and the panicle dry matter quality was the highest in the 4-transplant seedling treatment; the rice stalk strength was different in different growth stages, and the highest was in 2-transplant seedling treatment. The results of rice yield index showed that the yield of 270 kg/hm² high-fertilization treatment was the highest, which indicated that silicon fertilizer could promote the absorption and transformation of plant nutrients, and then improve rice yield. From the perspective of yield components, total grain number per panicle, 1 000-grain weight and seed setting rates were similar to the yield, and the different fertilization rates and the number of transplanted seedlings had little effect on the total grains per panicle and 1 000-grain weight.

Key words Silicon fertilizer; Number of seedlings; Stalk strength; Dry matter; Yield

水稻是广东省最主要的粮食作物, 每年稻谷产量占粮食作物产量的比例平均保持在 76% 以上, 常年种植面积 200 万 hm² 左右^[1-2]。肇庆市地处广东省中西部, 自然条件优越, 农业资源丰富, 绿色优质农产品种类多, 特色产业良好, 粮食、水果、蔬菜、畜禽、水产、南药等产业区域优势明显, 是广东省重要的农业产业基地。肇庆市水稻产业是全市农业结构的重要组成部分, 多年来肇庆市十分重视粮食尤其是优质水稻的生产, 全市粮食生产面积稳定在 22 万 hm² 左右, 其中水稻面积 16.7 22 万 hm², 在稳定水稻种植面积的同时, 实现优质稻覆盖率 90%。研究发现, 水稻产量由单位面积穗数、穗粒数、结实率和粒质量构成, 而水稻穗数与插秧基本苗数有一定的相关关系^[3]。合理插秧苗数既能充分发挥水稻较强的分蘖和群体自身调节能力, 减少群体内竞争, 获得理想穗数, 又能保证群体充分利用光能, 积累足够干物质, 提高水稻产量^[4]。

硅是水稻生长的有益元素^[5]。硅肥是一种中量元素肥料, 既可作肥料, 提供养分, 又可用作土壤调理剂, 改良土壤, 此外还兼有防病、防虫和减毒的作用, 将硅肥作为植物调节性肥料而配合大量元素肥料施用十分重要^[6]。前人研究表

明, 增施硅肥能显著提高玉米作物产量^[7], 提升其抗倒伏性^[8], 增强植物抗旱性^[9]。硅也是水稻良好生长所必需的元素, 我国硅肥的研究开始于 20 世纪 70 年代, 先后在浙江、江西及江苏等省份进行了硅肥对水稻增产的试验研究^[10]。大量研究表明, 施用硅肥可提高水稻抗倒伏能力、促进水稻光合作用, 进而提高水稻的产量和品质。硅肥不仅在水稻上得到推广, 在水果类、蔬菜类以及烟草、茶叶、甘蔗等经济作物上均得到应用, 同时在玉米等作物上的研究较多^[11]。该研究以常规稻为研究对象, 设置不同插秧基本苗数和硅肥施用量, 研究不同硅肥施用量和栽插苗数对水稻主要形态特征、生理生化指标、产量的影响, 同时监测水稻生育期内病虫害的发生情况, 旨在为该地区常规稻高产节本栽培提供科学依据, 以便于优质水稻在肇庆地区的推广应用。

1 材料与方法

1.1 试验材料 供试品种: 粤禾丝苗(选育单位: 广东省农业科学院水稻研究所, 亲本为粤农丝苗和粤银丝苗)。粤禾丝苗为感温型常规稻品种, 丰产性较好, 米质鉴定为国标优质 2 级和省标优质 2 级, 同时还具有植株矮壮、株型紧凑、分蘖力中、抗倒力强、耐寒性中、后期熟性好等特点。高抗稻瘟病, 中抗白叶枯病, 适宜广东省粤北以外稻作区早、晚造种植。

1.2 试验处理及种植管理 试验于 2018 年早造在肇庆市农

作者简介 李珂清(1988—), 女, 河南夏邑人, 助理农艺师, 硕士, 从事水稻等农作物栽培及示范推广研究。* 通信作者, 高级农艺师, 硕士, 从事农作物繁育栽培及示范推广研究。

收稿日期 2020-05-03

业科学研究所基地进行,该区位于西江干流中下游,属于南亚热带季风气候,雨水和日照充足。常规施肥管理,基肥:根据水稻生理需求配施 N、P、K 肥,尿素(纯 N 46.4%) 97.5 kg/hm²、过磷酸钙(P₂O₅ 12%) 125 kg/hm²、氯化钾(KCl 60%) 112.5 kg/hm²。施肥过程由一人完成,数量均匀。

试验设计为裂区试验,设施肥和移栽插秧苗数 2 个因素处理。A 处理:硅肥为俄罗斯进口矿物硅(必奥力, SiO₂ > 70%),作基肥和孕穗肥 2 次等量施用。设置 4 个硅肥施肥处理,即: A₁(不施肥处理, 0 kg/hm²); A₂(低肥处理, 90 kg/hm²); A₃(中肥处理, 180 kg/hm²); A₄(高肥处理, 270 kg/hm²)。B 处理: B₁~B₄ 分别为每穴移栽插秧苗数 2、4、6、8 苗。2018 年 3 月 5 日播种, 4 月 2 日移栽, 株行距均为 19.8 cm×19.8 cm, 每个试验小区 20 m²(10 m×2 m), 共 16 个小区, 小区间作埂隔离, 保证单独排灌。灌浆结实期间歇灌溉, 干湿交替, 收割前 7 d 断水搁田。其他田间管理和病虫害防治同常规高产栽培管理, 注意秧苗期防治福寿螺。病虫害防治: 送嫁药: 插秧前 2~3 d, 防治福寿螺、稻蓟马、稻叶蝉、稻飞虱等; 孕穗药: 施分化肥后 7~10 d, 防治纹枯病、二化螟和三化螟; 破口药: 始穗期, 防治稻纵卷叶螟、稻飞虱、纹枯病和稻瘟病。

1.3 主要农艺性状及产量 收获前 2 d 每个小区按对角线 3 点取样, 连续取 3 穴考察株高、单株穗重、有效穗数、穗长等农艺性状。同时考察每穗实粒数、空粒数、结实率和千粒重等产量构成因子。田间实收测产, 每小区取样收割面积 3 m², 脱粒后晾晒并称量, 计算总重量(kg), 再换算成实收产量。实收产量(kg/hm²) = 总重量(kg)/实收面积(m²) × 10 000。

1.4 茎秆强度测定 采用数显植物茎秆强度检测仪(型号为 YYD-1A)对各处理小区水稻茎秆强度进行测量, 测量时将仪器置于离地 20 cm 高处, 水平推动水稻茎秆直至植株与地面呈 45 度夹角, 读取压力值。于抽穗期、齐穗期和成熟期每小区选 3 个点, 每点选 3 穴进行测量。

1.5 干物重测定 水稻于齐穗期取样一次, 每个小区选长势一致的 3 穴, 将植株地上部分全部取样, 将样株按器官置于 105 ℃ 杀青 30 min, 80 ℃ 烘干至恒重, 测定干物重。

1.6 数据处理 运用 Microsoft Excel 录入数据、计算, 用 SPSS 软件统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同处理对水稻株高的影响 由表 1 可知, 不同施肥量和栽插秧苗数对水稻植株高度影响较小, 且各处理间差异不显著。在同一施肥量条件下, 除 A₂B₆ 处理株高显著高于 A₂B₈ 外, 其他各处理间差异较小; 在硅肥施肥量 180 kg/hm² 处理下, 不同栽插苗数水稻株高为 B₂>B₄>B₆>B₈, 表明水稻株高随着栽插苗数的增加略微降低。在同一栽插苗数处理下, 栽插 6 苗处理的未施硅肥水稻株高为 106 cm, 施用硅肥后株高增加到 109~115 cm, 其中在低肥处理(90 kg/hm²)水稻株高为 115 cm, 明显高于未施肥处理。同理, 在插秧 2 苗和 4 苗处理下, 施用硅肥后的水稻株高比未施硅肥处理高。

在栽插 8 苗处理下, 则得到相反结果, 水稻株高并未随施肥量增加而升高。说明硅肥施用和栽插苗数增加有利于水稻植株的营养吸收, 促进水稻株高增长。

表 1 不同处理对水稻株高的影响

Table 1 Effects of different treatments on rice plant height cm

处理 Treatment	株高 Plant height	处理 Treatment	株高 Plant height
A ₁ B ₂	107 bcd	A ₃ B ₂	112 ab
A ₁ B ₄	108 abc	A ₃ B ₄	110 abc
A ₁ B ₆	106 bcd	A ₃ B ₆	109 abc
A ₁ B ₈	107 bcd	A ₃ B ₈	106 bcd
A ₂ B ₂	110 abc	A ₄ B ₂	112 ab
A ₂ B ₄	109 abc	A ₄ B ₄	111 abc
A ₂ B ₆	115 a	A ₄ B ₆	112 ab
A ₂ B ₈	102 d	A ₄ B ₈	105 cd

注: 不同小写字母表示不同处理在 0.05 水平差异显著

Note: Different lowercase letters stand for significant differences between different treatments at 0.05 level

2.2 不同处理对水稻茎秆强度的影响 水稻茎秆强度在不同生育期也有不同, 抽穗期在未施硅肥和栽插 2 苗(A₁B₂)处理下茎秆强度仅为 12.91 N, 施用硅肥后茎秆强度增加至 20.29 N, 但是随着硅肥施用量的增加茎秆强度并无太大差异, 抽穗期水稻茎秆强度以 A₂B₂ 组合最高(表 2)。齐穗期施用硅肥后的水稻茎秆强度显著高于未施肥处理, 以 A₄B₂ 组合最高, 以 A₁B₄ 组合最低。成熟期在栽插 2 苗处理下, 施用硅肥后的水稻茎秆强度均显著高于未施肥的处理, 其中以 A₃B₂ 组合最高。不同时期测定结果表明, 随着硅肥施量的增加水稻茎秆强度均略有升高, 说明硅肥的施用能够提升植株的综合抗倒伏能力。

表 2 不同处理对水稻茎秆强度的影响

Table 2 Effects of different treatments on rice stalk strength N

处理 Treatment	抽穗期 Heading stage	齐穗期 Full heading stage	成熟期 Maturity
A ₁ B ₂	12.91 g	16.34 f	16.59 e
A ₁ B ₄	19.64 a	14.65 g	18.71 d
A ₁ B ₆	18.11 bc	17.41 ef	20.63 c
A ₁ B ₈	15.19 ef	16.53 f	18.48 d
A ₂ B ₂	20.29 a	20.42 b	23.11 ab
A ₂ B ₄	18.98 ab	18.87 cd	21.10 c
A ₂ B ₆	16.11 def	18.94 cd	15.26 e
A ₂ B ₈	14.87 f	20.05 bc	18.98 d
A ₃ B ₂	15.33 ef	20.60 b	23.84 a
A ₃ B ₄	18.21 bc	19.28 bcd	16.37 e
A ₃ B ₆	17.42 cd	16.87 f	16.42 e
A ₃ B ₈	15.90 def	19.55 bcd	21.95 bc
A ₄ B ₂	17.29 cd	22.95 a	21.82 bc
A ₄ B ₄	16.57 de	18.52 de	15.75 e
A ₄ B ₆	18.03 bc	19.29 bcd	16.51 e
A ₄ B ₈	13.20 g	16.71 f	16.47 e

注: 不同小写字母表示不同处理在 0.05 水平差异显著

Note: Different lowercase letters stand for significant differences between different treatments at 0.05 level

2.3 不同处理对齐穗期水稻干物质的影响 由表3可知,不同施肥量和栽插苗数对齐穗期水稻茎秆、叶片和穗干物质积累的影响较小;其中,水稻茎秆和穗干物质积累量分别以A₂B₆和A₄B₄处理最高,分别为31.08和25.08 g,且在同一施肥量下,不同栽插苗数处理间均无显著差异;水稻叶片干物质积累以A₄B₈处理最低(为7.03 g);但分析栽插苗数对水稻干物质的影响可知,同一硅肥施用量下水稻茎秆和叶片干物质积累量在6苗处理下的值最高,穗干物质积累在4苗处理下值最高。

2.4 不同处理对水稻产量及产量构成因素的影响 由表4可看出,不同施肥量和栽插苗数对水稻产量有一定影响,随着施肥量增加大多数相同栽插苗数处理产量增加。同一施肥量下,栽插2苗和4苗的实际产量较高,分别为10 500.05和9 833.38 kg/hm²,与其他处理达显著差异,栽插苗数为8苗时,产量下降。因此,水稻产量以A₄B₂和A₄B₄处理为最佳配置。从产量构成因素看,每穗总粒数、千粒重和结实率与产量表现相似,有效穗数与产量表现相反,且不同施肥量与栽插苗数对每穗总粒数和千粒重影响较小。

表3 不同处理对齐穗期水稻干物质的影响

Table 3 Effects of different treatments on dry matter weight of rice at full heading stage g

处理 Treatment	茎秆重 Stalk weight	叶片重 Leaf weight	穗重 Panicle weight
A ₁ B ₂	28.20 ab	9.61 ab	18.97 ab
A ₁ B ₄	25.74 ab	10.17 a	20.18 ab
A ₁ B ₆	24.52 ab	11.05 a	23.35 ab
A ₁ B ₈	25.43 ab	10.27 a	18.70 ab
A ₂ B ₂	22.98 ab	8.91 ab	13.01 ab
A ₂ B ₄	23.56 ab	8.86 ab	17.86 ab
A ₂ B ₆	31.08 a	11.02 a	18.28 ab
A ₂ B ₈	27.92 ab	9.66 ab	15.63 ab
A ₃ B ₂	26.61 ab	9.37 ab	16.91 ab
A ₃ B ₄	21.26 b	8.74 ab	18.31 ab
A ₃ B ₆	26.17 ab	9.14 ab	19.83 ab
A ₃ B ₈	25.15 ab	9.43 ab	12.88 b
A ₄ B ₂	25.78 ab	9.92 a	20.32 ab
A ₄ B ₄	28.55 ab	9.77 a	25.08 a
A ₄ B ₆	30.50 a	11.02 a	22.32 ab
A ₄ B ₈	23.35 ab	7.03 b	14.68 ab

注:不同小写字母表示不同处理在0.05水平差异显著

Note: Different lowercase letters stand for significant differences between different treatments at 0.05 level

表4 不同处理对产量构成因素的影响

Table 4 Effects of different treatments on grain yield components

处理 Treatment	有效穗数 Effective panicle number	每穗总粒数 Total grain number per panicle//g	千粒重 1 000-grain weight//g	结实率 Seed rate %	实际产量 Actual production kg/hm ²
A ₁ B ₂	6.6 de	1 579 ab	22.72 a	0.781 9 abc	5 833.26 defg
A ₁ B ₄	6.8 cde	1 811 ab	23.19 a	0.774 8 abc	8 333.38 b
A ₁ B ₆	8.7 ab	1 546 ab	19.15 b	0.717 0 abcd	6 500.03 def
A ₁ B ₈	8.2 abcd	1 411 ab	22.18 a	0.596 4 d	5 166.69 g
A ₂ B ₂	6.9 abcd	1 648 ab	22.91 a	0.738 5 abcd	8 000.04 bc
A ₂ B ₄	8.0 abcd	1 726 ab	22.85 a	0.778 2 abc	6 500.03 def
A ₂ B ₆	7.8 abcd	1 172 b	22.19 a	0.699 3 bcd	6 166.70 defg
A ₂ B ₈	8.7 abc	1 420 ab	22.24 a	0.658 4 cd	5 333.36 fg
A ₃ B ₂	5.7 e	1 498 ab	22.93 a	0.846 2 ab	8 000.04 bc
A ₃ B ₄	8.0 abcd	1 750 ab	22.63 a	0.795 8 abc	8 166.71 b
A ₃ B ₆	8.7 abc	1 584 ab	22.54 a	0.710 0 abcd	6 833.37 cd
A ₃ B ₈	8.0 abcd	1 721 ab	22.26 a	0.680 3 cd	5 500.03 efg
A ₄ B ₂	7.0 bcde	1 550 ab	22.78 a	0.704 3 abcd	9 833.38 a
A ₄ B ₄	8.3 abcd	2 095 a	22.60 a	0.851 7 a	10 500.05 a
A ₄ B ₆	7.3 abcde	1 414 ab	22.80 a	0.626 5 d	6 666.70 de
A ₄ B ₈	9.0 a	1 284 ab	22.83 a	0.604 3 d	5 833.36 defg

注:不同小写字母表示不同处理在0.05水平差异显著

Note: Different lowercase letters stand for significant differences between different treatments at 0.05 level

3 结论与讨论

水稻植株生长环境的肥力水平和栽插苗数影响着群体和个体的发育,进而影响水稻产量及种植的经济效益。适宜的穴苗数能有效地利用光能,充分地利用地力,保证个体的正常发育和群体的协调发展^[12]。硅是水稻等禾本科作物生长发育的有益元素,对禾本科作物生长具有促进作用,能明显提高作物的干物质积累,减缓病害的发生,缓解作物的生物和非生物胁迫^[13]。前人以粳稻为研究材料开展了许多研究,王显等^[14]研究结果表明,施用硅肥可提高水稻植株光合作用、提高地上部干物质积累和改善植株营养状况。陈健晓等^[15]研究表明,施硅肥可提高水稻干物质积累及物质转运,

协调了库源关系。陆福勇等^[16]研究表明,施硅肥能增加水稻有效穗数进而提高水稻产量,而对每穗粒数、千粒重和结实率影响不大。张国良等^[17]对武育粳3号研究表明,在大田基施硅肥(有效硅含量≥20%)0~450 kg/hm²范围内,随硅肥施用量的增加,水稻产量呈先增加后降低的趋势,在225 kg/hm²时产量最高。该研究以华南地区推广较多的籼稻为研究材料,对不同处理下水稻农艺性状及产量等数据进行分析,发现在籼稻栽培过程中施用矿物硅(SiO₂>70%)270 kg/hm²时水稻产量最高,与张国良等^[17]的研究结果不一致,可能是由于水稻类型不同及种植环境不同所致。

构建合理群体结构是水稻高产栽培的主要措施,合理基

本苗数利于水稻高产群体的建成和发展,而基本苗一般由栽插密度和每穴栽插苗数决定^[18-20]。关于移栽插秧苗数对水稻生长发育及产量的影响前人进行了很多研究,但结果不一。刘文祥等^[21]提出,合理栽插苗数主要通过调控和优化群体结构,达到延长功能叶寿命、提高群体光合效率的目的。宋云生等^[22]提出,精确定量单穴苗数是水稻钵苗机栽(插)高产栽培的前提。以适宜单穴苗数协调穗粒矛盾,保证较高有效穗数,提高每穗粒数并兼顾结实率与千粒质量以构建合理群体结构,是水稻钵苗机插高产形成的有效途径。钱银飞等^[23]对常规粳稻机插的研究表明,常规粳稻机插的栽插苗数对产量的影响明显,且以每穴4苗左右最有利于水稻高产的形成。王军等^[24]对超级稻品种南粳45和南粳49的研究表明,随着每穴苗数的增加,南粳45和南粳49实收产量逐渐降低。该研究表明,在不同施肥量和栽插苗数处理下,水稻在移栽插秧苗数4的情况下产量最高。影响水稻产量的主要因子有单位面积有效穗数、穗粒数、结实率和千粒重。随着栽插苗数的增加,水稻有效穗数增加,在移栽插秧苗数8的情况下,有效穗数最多,但每穗总粒数和千粒重几乎没有差异。

参考文献

- [1] 王志东,周少川,李宏,等.优质常规稻美油占的选育及应用[J].中国种业,2014(12):72-73.
- [2] 刘胜敏.新形势下如何做好农业机械化技术推广工作[J].南方农机,2016,47(2):28-29.
- [3] 王成媛,王伯伦,张文香,等.栽培密度对水稻产量及品质的影响[J].沈阳农业大学学报,2004,35(4):318-322.
- [4] 郑桂萍,梁金国,赵洋,等.群体构建因素与寒地水稻产量关系的研究[J].上海农业学报,2014,30(3):56-61.
- [5] 刘文国,王林权,白延红.植物体有益元素硅的研究进展[J].西北植物学报,2003,23(12):2248-2253.
- [6] SONG A L, LI P, LI Z J, et al. The alleviation of zinc toxicity by silicon is

- related to zinc transport and antioxidative reactions in rice[J]. Plant and soil, 2011, 344(1/2):319-333.
- [7] 王大为,史磊,孙成福,等.硅肥对玉米生理指标和产量的影响[J].辽宁农业科学,2017(4):12-14.
- [8] 石彦召.增施硅肥对玉米的抗倒性和产量的影响研究[J].农业科技通讯,2013(3):48-50.
- [9] 李清芳,马成仓,季必金.硅对干旱胁迫下玉米水分代谢的影响[J].生态学报,2009,29(8):4163-4168.
- [10] 蔡德龙.国内外硅肥研究与应用进展[J].磷肥与复肥,2017,32(1):37-39.
- [11] 徐宁,张方园,曹娜,等.硅叶面肥对夏玉米生长发育、产量和品质的影响[J].江苏农业科学,2019,47(14):74-77.
- [12] 崔逸,钱永德.施氮量与穴苗数对水稻产量的影响[J].现代农业,2015(3):16-17.
- [13] TSUJIMOTO Y, MURANAKA S, SAITO K, et al. Limited Si-nutrient status of rice plants in relation to plant-available Si of soils, nitrogen fertilizer application, and rice-growing environments across Sub-Saharan Africa[J]. Field crops research, 2014, 155:1-9.
- [14] 王显,张国良,霍中洋,等.氮硅配施对水稻叶片光合作用和氮代谢酶活性的影响[J].扬州大学学报(农业与生命科学版),2010,31(3):44-49.
- [15] 陈健晓,屠乃美,易镇邪,等.硅肥对超级早稻茎叶形态与抗倒伏特性的影响[J].作物研究,2011,25(3):209-212.
- [16] 陆福勇,江立庚,秦华东,等.不同氮、硅用量对水稻产量和品质的影响[J].植物营养与肥料学报,2005,11(6):846-850.
- [17] 张国良,戴其根,王建武,等.施硅量对粳稻品种育种3号产量和品质的影响[J].中国水稻科学,2007,21(3):299-303.
- [18] 丁国华,杨光,白良明,等.插秧密度与苗数对不同分蘖类型寒地水稻群体构成的影响[J].华北农学报,2015,30(6):146-152.
- [19] 丁颖.中国水稻栽培学[M].北京:农业出版社,1961:10-35.
- [20] 潘圣刚,曹涛贵,蔡明历,等.栽插密度及方式对杂交水稻“红莲优6号”产量和品质的影响[J].江西农业大学学报,2006,28(6):845-849.
- [21] 刘文祥,青先国,艾治勇.不同密度和栽插苗数对水稻冠层和产量的影响[J].华北农学报,2013,28(2):114-121.
- [22] 宋云生,张洪程,戴其根,等.水稻机栽钵苗单穴苗数对分蘖成穗及产量的影响[J].农业工程学报,2014,30(10):37-47.
- [23] 钱银飞,张洪程,李杰,等.不同基本苗配置对机插稻产量和品质的影响[J].华北农学报,2009,24(S1):316-322.
- [24] 王军,仲维功,杨杰,等.不同基本苗对超级稻南粳45、南粳49产量及其构成的影响[J].西南农业学报,2015,28(4):1433-1437.

(上接第24页)

- [54] RENNY-BYFIELD S, WENDEL J F. Doubling down on genomes: Polyploidy and crop plants[J]. Am J Bot, 2014, 101(10):1711-1725.
- [55] SOLTIS D E, VISGER C J, SOLTIS P S. The polyploidy revolution then... and now; Stebbins revisited[J]. Am J Bot, 2014, 101(7):1057-1078.
- [56] VELASCO R, ZHARKIKH A, AFFOURTIT J, et al. The genome of the domesticated apple (*Malus x domestica* Borkh.) [J]. Nat Genet, 2010, 42(10):833-839.
- [57] D'HONT A, DENOEUDE F, AURY J M, et al. The banana (*Musa acuminata*) genome and the evolution of monocotyledonous plants [J]. Nature, 2012, 488(7410):213-217.
- [58] WANG Z W, HOBSON N, GALINDO L, et al. The genome of flax (*Linum usitatissimum*) assembled de novo from short shotgun sequence reads [J]. Plant J, 2012, 72(3):461-473.
- [59] LU F, LIPKA A E, GLAUBITZ J, et al. Switchgrass genomic diversity, ploidy, and evolution; Novel insights from a network-based SNP discovery protocol [J]. PLoS Genet, 2013, 9(1):1-14.

- [60] MYBURG A A, GRATAPAGLIA D, TUSKAN G A, et al. The genome of *Eucalyptus grandis* [J]. Nature, 2014, 510(7505):356-362.
- [61] WANG W, HABERER G, GUNDLACH H, et al. The *Spirodela polyrrhiza* genome reveals insights into its neoteneous reduction fast growth and aquatic lifestyle [J]. Nat Commun, 2014, 5:1-13.
- [62] LYSAK M A, KOCH M A, PECINKA A, et al. Chromosome triplication found across the tribe Brassicaceae [J]. Genome Res, 2005, 15(4):516-525.
- [63] MOGHE G D, SHIU S H. The causes and molecular consequences of polyploidy in flowering plants [J]. Ann N Y Acad Sci, 2014, 1320(1):16-34.
- [64] SALSE J, BOLOT S, THROUDE M, et al. Identification and characterization of shared duplications between rice and wheat provide new insight into grass genome evolution [J]. Plant Cell, 2008, 20(1):11-24.
- [65] BYRNE D H, JELENKOVIC G. Cytological diploidization in the cultivated octoploid strawberry *Fragaria x ananassa* [J]. Can J Genet Cytol, 1976, 18(4):653-659.